

地铁区间矿山法 BIM 建模标准研究

徐大统¹, 樊建虎¹, 周 红², 林 孟²

(1. 中铁南方投资集团有限公司, 广东 深圳 518000;

2. 厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005, E-mail: mcwangzh@xmu.edu.cn)

摘 要: 目前地铁区间针对矿山法的 BIM 建模标准研究相对较少, 也尚未出台相关的国家标准, 为 BIM 技术在地铁施工中全过程全工法的应用, 研究和实践矿山法 BIM 建模标准。在工作分解结构基础上进行矿山法模型构件的拆分, 结合实际施工情况得到构件类型表。将拆分的各个构件进行编码, 并根据施工阶段构件模型精细度的要求, 进行矿山法 BIM 模型的构建, 使模型的信息能更加有效地表达, 为地铁区间应用矿山法提供指导。

关键词: 地铁区间; 矿山法; BIM; 建模标准

中图分类号: TU17 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859 (2019) 06-042-06 DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2019.06.008

Research on BIM Modeling Standard of Subway Interval Mining Method

XU Da-tong¹, FAN Jian-hu¹, ZHOU Hong², LIN Meng²

(1. China Railway Construction Investment Group Co.Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China, E-mail: mcwangzh@xmu.edu.cn)

Abstract: The research on BIM modeling standard for mining method in subway interval is relatively rare. Relevant national standards are lacking, which leads to the ineffective application of BIM in subway construction. Thus, the study systematically analyzes BIM modeling standard in mining method. Firstly, the mining method model components are break down based on the work breakdown structure and based on the component type list of actual construction. Then the splitting components are coded and BIM model of mining method is built according to the requirements of the fineness of component models during construction. Based on this research, the model information can be expressed more effectively, which provides guidance for the application of mining method in subway interval.

Keywords: subway interval; mining method; BIM; modeling standard

随着我国城市轨道交通建设进程的推进和 BIM 技术在建筑领域愈发成熟的应用, BIM 技术的应用与研究已经从单纯的房屋建筑延伸到地铁建设领域。例如重庆市在推进 BIM 技术应用的通知中规定, 自 2019 年起轨道交通站点的建设过程中, 在勘察阶段和设计阶段必须应用 BIM 技术^[1]。我国“十三五”规划交通体系对未来城市轨道交通建设的要求和目标作出了规划, 提出了将“创新驱动、安全绿色”作为基本原则, 提倡将现代信息技术和智能化运用到交通基础设施中, 提高管理效率, 使其更安全可靠^[2]。

矿山法是地铁施工常用的施工技术之一, 随着 BIM 技术推广到地铁建设领域, 矿山法 BIM 建模标准的研究势在必行。国内仅有翟世鸿^[3]等进行了针对铁路矿山法隧道 BIM 建模的研究, 对构件代码、建模精度等进行了相关的研究。目前尚缺乏较强的可操作性的矿山法地铁施工的相关标准。基于此, 本文针对地铁区间矿山法 BIM 建模标准, 构建相关的标准体系, 为矿山法的应用提供依据和规范参考。

1 矿山法施工模型构件拆分

1.1 构件拆分原则

国内现行的构件分类原则或标准的依据主要是分部分项工程的划分, 对地铁区间尚未有专门的

收稿日期: 2019-06-05.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (71871192);

中铁建投 2016 年科技重大计划 ((2016) 01-1).

构件分类研究分析。目前在轨道交通领域仅有部分地区发布了当地关于分部分项工程划分的企业标准,如北京市企业标准《轨道交通分部工程和分项工程划分标准》^[4]。

为了能够在建模过程中,体现不同构件之间的差异性,需要将整个工程遵循工作分解结构原则(WBS)进行分解,使不同阶段的构件有所区分。作为对矿山法施工过程模型建模标准的研究,需要准确地描述实际施工过程,具有可操作性,因此,依据分部分项工程的分解方法,采用按实施过程分解的分解方式^[5]。按照地铁区间施工阶段的施工方法进行划分,分为明挖法和暗挖法。按照矿山法的施工过程,进行分部分项工程的拆解,具体的分解过程如图1所示。

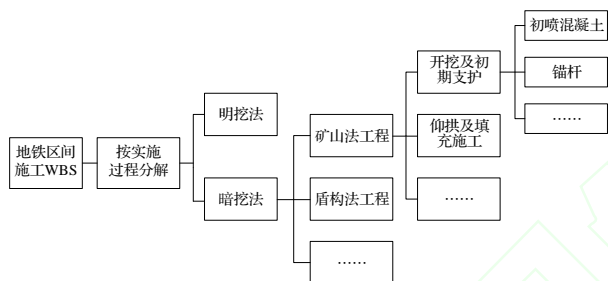


图1 构件拆分子例

1.2 矿山法施工模型构件拆分

1.2.1 工序分解

在时间上,可以将矿山法工程划分为3个阶段,第一阶段为开挖及初期支护,第二阶段为仰拱及填充施工,第三阶段为二次衬砌。根据详细的施工过程顺序,将3个阶段分别进行工序划分,如在开挖及初期支护阶段还可划分为超前支护、初喷混凝土等,再根据每道工序涉及的构件进行建模,具体如表1所示。

表1 矿山法工序分解表

| 矿山法施工工序 | 详细工序 |
|---------|--|
| 开挖及初期支护 | 超前支护;初喷混凝土;锚杆、钢筋网施工;复喷混凝土 |
| 仰拱及填充施工 | 仰拱开挖;仰拱初次支护、喷射混凝土;安装仰拱钢架;安装仰拱止水带;安装仰拱模板、浇筑混凝土;仰拱填充 |
| 二次衬砌 | 边墙表面处理;铺设边墙防水;模板班车就位;浇筑二次衬砌混凝土 |

1.2.2 构件类型

BIM模型需要根据不同工序施工过程给出相应构件信息。如在开挖及初期支护阶段需要体现的构件信息有:初喷混凝土、锚杆、钢筋网、复喷混凝土,如表2所示。

表2 矿山法各工序的构件类型

| 工序 | 构件 |
|---------|----------------------------|
| 开挖及初期支护 | 初喷混凝土;锚杆;钢筋网;复喷混凝土 |
| 仰拱及填充施工 | 喷射混凝土;仰拱钢架;仰拱止水带;仰拱模板;仰拱填充 |
| 二次衬砌 | 二次衬砌混凝土 |

2 矿山法施工模型构件编码

针对表2列举的构件类型进行编码,结合WBS对BIM模型的分解方式,以及参照现有的建筑编码规则,具体的编码方式如图2所示。

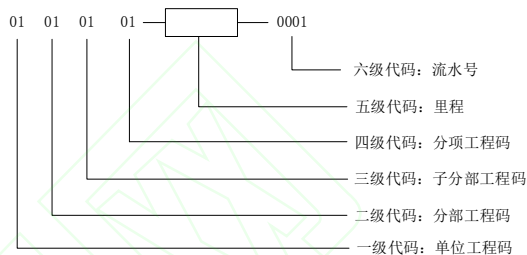


图2 编码格式

一级代码:单位工程码,主要功能为对地铁施工过程中的单位工程进行区分。例如01表示明挖工程,02表示暗挖工程。

二级代码:分部工程码,主要功能是对单位工程进行分解。例如暗挖工程中01表示矿山法,02表示盾构法。

三级代码:子分部工程码,主要功能为细化分部工程。

四级代码:分项工程码,主要功能为对分部工程进行分解。

五级代码:里程,主要功能是定位构件所在的位置。

六级代码:流水号,主要功能为对同一位置的构件进行区分,由四位数字组成。

前四级代码选用层次码进行编码,每级与分类体系相对应,采用两位数字表示。第五级代码表示的是构件的里程位置,根据里程表示的方法,此处采用的是缩写码进行表达,例如DK14+325.000表示为该位置距离基准点的距离为14325m。第六级代码为构件顺序码,根据这级编码的特征,这级编码仅需表示顺序,不需体现具体的属性,因此采用递增顺序码即可,将同一个位置中相同的构件采用四位流水号从0001往上递增表示。

随着技术的发展,若出现新的工序或设备,则采用“90-99”作为自定义层进行补充编码,尽可能保持原编码格式的不变性^[6]。具体的矿山法的构件编码表如表3所示。

表 3 矿山法构件编码表

| 单位工程 | 分部工程 | 子分部工程 | 分项工程 | 里程 | 流水号 |
|---------|--------|------------|------------|--------------|-------------|
| 01 暗挖工程 | 01 矿山法 | 01 开挖及初期支护 | 01 初喷混凝土 | DK14+325.000 | 0001 1 号 XX |
| | | | 02 锚杆 | | |
| | | | 03 钢筋网 | | |
| | | | 04 复喷混凝土 | | |
| | | 02 仰拱及填充施工 | 01 喷射混凝土 | | |
| | | | 02 仰拱钢架 | | |
| | | | 03 仰拱止水带 | | |
| | | | 04 仰拱模板 | | |
| | | | 05 仰拱填充 | | |
| | | 03 二次衬砌 | 01 二次衬砌混凝土 | | |

3 矿山法施工模型构件建模细度

3.1 施工模型精细度

模型精细度指的是在 BIM 模型中各个构件的信息完整性。针对不同阶段所需要信息的详细程度不同,将模型精细度进行等级划分,不同的应用需求可选用不同精细度的等级。

目前国内外对 BIM 模型精细度的描述主要使用 LOD 等级,LOD 的概念最初出现在计算机图形学中,解释是 Level of Detail,是由 Clark^[7]于 1976 年提出来的。随后,LOD 概念被引入建筑业 BIM 模型中,其概念演变为 Level of Development,这个定义最早是由美国建筑师协会(AIA)提出的。在计算机图形学中 LOD 主要是对几何信息描述的精细度进行阐述。而 LOD 应用到建筑业之后,出现概念的变化,信息不仅体现在对几何信息精细度的表示上,更强调了对非几何信息的描述,体现了建筑业的特性:在工程中更侧重的是对信息的管理过程,而不是单纯的模型建立过程。

2008 年,美国建筑师协会(AIA)发布了 AIA E202 建筑模型信息协议增编^[8],成为 LOD 等级的第一份 BIM 合同文件。E202 包含 5 个不同的发展水平(LOD)模型元素,分别为 LOD100~LOD500 级^[9],随着项目建设的不断深入,LOD 等级也在提升,信息的完整度也相应提升。在 E202 文件中,只是在概念上对建筑信息模型的内容、需求及完整度等进行说明。E202 中定义的 LOD 等级不够清晰,没有任何一个 LOD 等级给出在这个等级下模型的详细图示,以及在同一等级的 LOD 下不同专业如何使用该模型的详细说明。因此设计公司、承包商、分包商并不清楚如何提交 BIM 模型。其中,LOD 等级和不同的阶段之间没有严格的对应关系^[10]。

2010 年美国退伍军人事务部 Veterans Affairs 提供了物元矩阵,定义了由 Unifomat/OmniClass 编码

分类的对象和单元的特征和属性^[11],以及在不同阶段 LOD 下的特征和属性。这是对 E202 文件的最好解释并提供了对 BIM 信息使用的更好理解。2013 年 8 月,美国综合营造公会(AGC)和美国建筑师协会(AIA)发布的 LOD 规范 2013 版,相对初始的五级 LOD,增加了 LOD350 等级。

3.2 矿山法施工模型精细度分析

我国现有的建筑信息模型标准^[12]中,针对施工过程中使用的 LOD 等级主要有 3 个,分别是 LOD300、LOD350、LOD400,其中 LOD350 主要是针对构件连接处的描述^[13]。

矿山法施工模型中,首先根据上述对矿山法工序的划分以及构件类型的列举,各工序中需要体现的构件模型主要有混凝土衬砌、钢筋网、管棚、超前小导管、锚杆、格栅钢架、拱墙、仰拱和仰拱填充。再根据 LOD300、LOD350、LOD400 等级对构件几何信息与非几何信息要求,对每个构件在不同 LOD 等级下的模型精细度进行定义,如表 4 所示。

4 案例分析

4.1 工程概况

厦门地铁三号线过海通道是从厦门岛内到翔安,从五缘湾站开始,向东穿越海底,到达刘五店站,整个区间右线共 4908.708m,左线共 4918.809m。在该过海通道的施工过程中,矿山法为其采用的主要施工工法之一。该工程的位置示意图如图 3 所示。

4.2 矿山法 BIM 建模标准应用

根据前述步骤对案例工程进行矿山法施工工序分解及构件编码,并结合 LOD 等级对模型构件精细度的要求,对三号线地铁区间矿山法施工各工序涉及的构件进行 BIM 建模。

(1) 钢筋网。钢筋网宜按一定范围内所有相关联的钢筋组成架构为一个构件。钢筋网的几何信息应包括钢筋网的长度、重量、钢筋的直径、所处

表 4 矿山法构件建模细度表

| 构件 | | LOD300 | LOD350 | LOD400 |
|-------|-------|---------------------------------|-------------------------|---|
| 混凝土衬砌 | 几何信息 | 纵向长度/厚度等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的施工工艺、具体的工程量、所处的围岩级别、施工日期、施工顺序、生产厂商、构件编号等信息 |
| 钢筋网 | 几何信息 | 长度/重量/钢筋直径等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、配筋率、施工日期、施工工艺、生产厂商、构件编号等信息 |
| 管棚 | 几何信息 | 长度/重量/钢管直径等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 超前小导管 | 几何信息 | 长度/外倾角/钢管直径/重量等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 锚杆 | 几何信息 | 长度/直径/重量等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 格栅钢架 | 几何信息 | 长度/直径/重量等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 拱墙 | 几何信息 | 纵向长度/厚度等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、配筋率、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 仰拱 | 几何信息 | 纵向长度/弧度/厚度等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、配筋率、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |
| 仰拱填充 | 几何信息 | 纵向长度/弧度/厚度等尺寸信息 建模几何精度信息 | 同 LOD300 | 包括 LOD350 的所有信息 施工过程具体的定位信息，里程等信息 |
| | 非几何信息 | 材质信息 类型信息 | 材质信息 类型信息 连接处细节信息 | 包括 LOD350 的所有信息 根据项目需求，包括具体的工程量、配筋率、施工日期、施工工艺、构件编号等信息 |

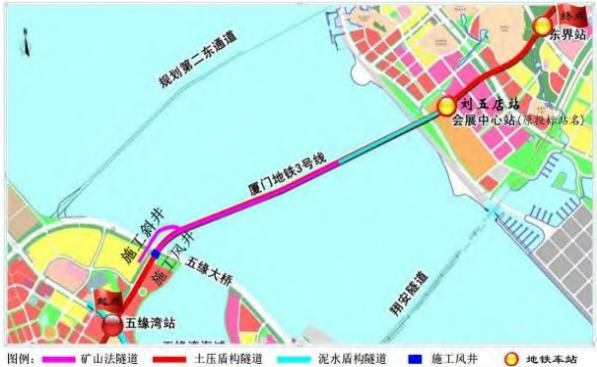


图 3 厦门本岛至翔安过海通道工程

位置的里程等信息；非几何信息应包括钢筋网的材质及属性、生产厂商、构件编号、类型等信息。具体图示如图 4 所示，模型的颜色采用常见的钢筋网的实际颜色银灰色（RGB 值：180，180，180）。

（2）超前小导管。超前小导管的构件单元，宜按掘进深度分段，同一分段上的小导管组成一个构件。超前小导管的几何信息应包括它的长度、角度、重量、钢管的直径、所处位置的里程等信息；非几何信息应包括超前小导管的材质及属性、生产厂商、构件编号、类型等信息。具体图示如图 5 所

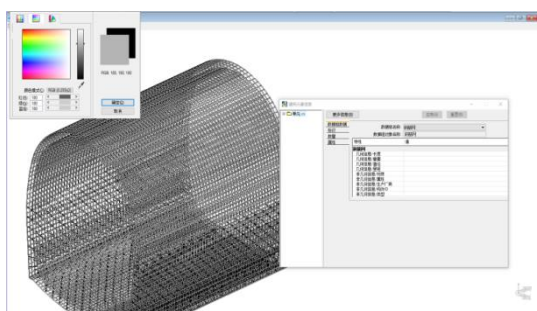


图 4 钢筋网信息模型

示,模型的颜色采用常见钢管的颜色褐色(RGB 值: 160, 82, 45)。

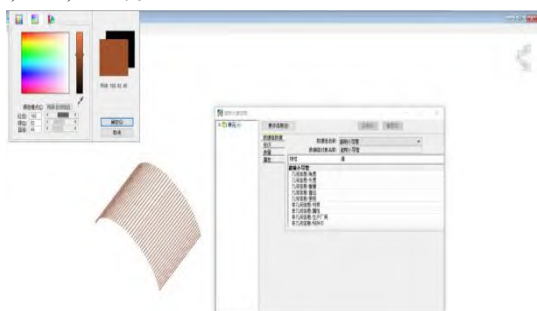


图 5 超前小导管信息模型

(3) 混凝土衬砌。混凝土衬砌的构件单元,宜按掘进深度分段,同一分段上组成一个构件。混凝土衬砌的几何信息应包括它的长度、厚度、所处位置的里程等信息;非几何信息应包括混凝土衬砌的材质及属性、生产厂商、构件编号、类型等信息。具体图示如图 6 所示,模型的颜色采用混凝土的颜色灰色(RGB 值: 192, 192, 192)。

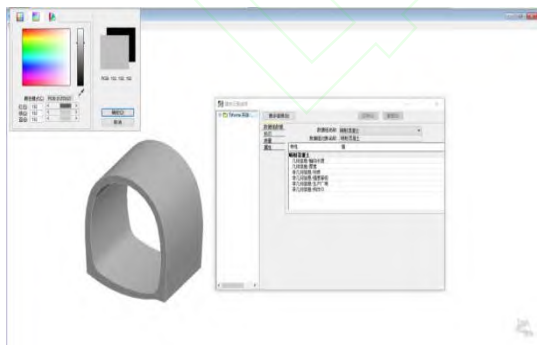


图 6 混凝土衬砌信息模型

(4) 仰拱。仰拱的构件单元,宜按掘进深度分段,同一分段上组成一个构件。仰拱的几何信息包括它的纵向长度、弧度、厚度、所处位置的里程等信息;非几何信息应包括仰拱的材质及属性、生产厂商、构件编号、类型等信息。具体图示如图 7 所示,模型的颜色采用混凝土的颜色灰色(RGB 值:

192, 192, 192)。

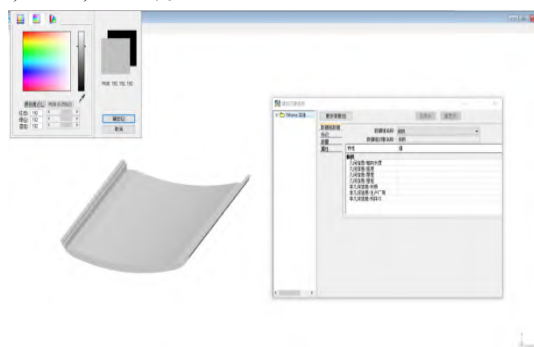


图 7 仰拱信息模型

(5) 仰拱填充。仰拱填充的构件单元,宜按掘进深度分段,同一分段上组成一个构件。仰拱填充的几何信息包括它的纵向长度、厚度、所处位置的里程等信息;非几何信息应包括仰拱的材质及属性、生产厂商、构件编号、类型等信息。具体图示如图 8 所示,模型的颜色采用混凝土的颜色灰色(RGB 值: 192, 192, 192)。

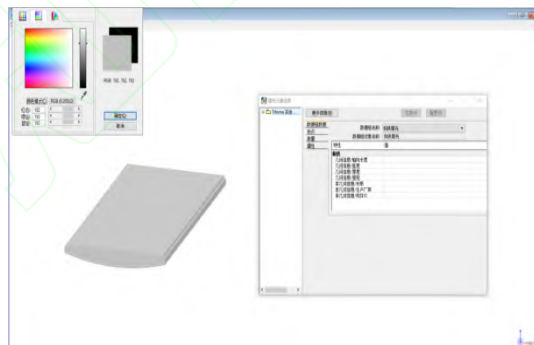


图 8 仰拱填充示意图

(6) 施工过程组合模型。将上述的模型单元,在软件中进行组合,可得到如图 9 所示的部分模型组合图,该组合模型集中体现了矿山法在施工过程中模型的表现方法。

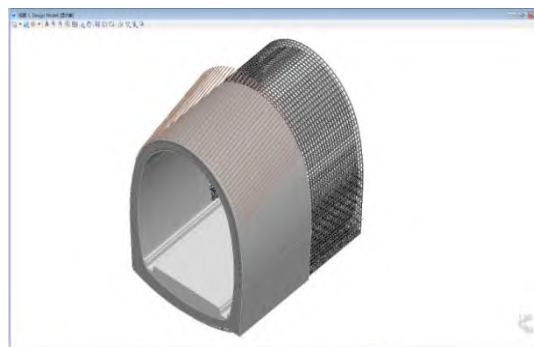


图 9 部分模型组合信息模型

4.3 结果分析

应用矿山法 BIM 建模标准对三号线地铁区间进行 BIM 建模,对该地铁工程主要具有以下几点益

处:一是为地铁工程设备设计阶段提供了构件的具体物理信息,如型号、尺寸、价格等,以保证设计的合理性,满足后续施工顺序、施工环境以及运营维护阶段对设备维护的要求;二是为施工阶段提供了构件的安装方法及工艺信息,保证施工过程满足相应质量和安全等指标;三是为竣工交付阶段提供了安装细节、相应构件供应商等信息,以便施工方能够将完整的模型结果和设备信息交付给建设方;四是后期运营维护阶段提供了构件的生产厂商、使用年限、负责人、试运行记录等信息,保证工程项目在运营阶段的有序和安全,对工程项目进行有效管控。

地铁区间矿山法 BIM 建模标准满足了地铁施工模型从工程设计到施工、交付、运营维护乃至全寿命周期阶段的信息需求,规范了信息传递的过程,保证了信息在交换和传递过程的完整性,满足了地铁工程项目各个参与方对矿山法施工不同信息的需求,更好地实现了 BIM 在地铁建设工程中的应用。

5 结语

本文针对矿山法施工地铁隧道的实际工程应用需求,研究并实践了矿山法 BIM 建模标准。从施工阶段的信息需要出发,首先在工作分解结构的基础上进行矿山法模型工序的分解和构件的拆分,结合实际施工情况得到构件类型表;接着将拆分的各个构件进行六级编码,使各工序的构件有所区分,方便对构件进行信息管理;然后,对施工阶段构件的模型精细度进行定义,使模型的信息能更加有效地表达;最后,应用建模标准对厦门地铁三号线地铁施工矿山法区段进行了建模应用,论证了本建模标准应用在实际工程建模的成果,为地铁区间矿山法施工提供了有效指导。“标准”的构建,解决了分部分项工程与施工工序不匹配的问题,并在厦门地铁3号线过海通道矿山段进行了实际应用本标准可以与设计和运维阶段的地铁施工 BIM 模型标准共同组成形成全寿命周期均统一的标准。本文所构建的地铁区间矿山法 BIM 建模标准也存在以下不足:一是 BIM 标准的推广和完善,本文仅针对矿山法进行了 BIM 标准的研究和实例分析,还需要更多的工程实践来完善;二是与其他信息技术的集成。随着信息技术在工程中的普遍应用, BIM 技术也与

其他软件进行更多的交互应用,如在规划阶段与 GIS 的集成应用以及运营阶段与运营软件的交互应用。 BIM 技术的核心在于全寿命周期的信息管理,因此 BIM 建模标准的编制还应着眼于与其他地理软件和管理软件之间的兼容性的问题。

参考文献:

- [1] 重庆市城乡建设委员会. 关于加快推进建筑信息模型 (BIM) 技术应用的意见[EB/OL]. <http://www.ccc.gov.cn/xxgk/wjtz/2017-12-01-10652213.html>, 2016.
- [2] 国务院. 国务院关于印发“十三五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/28/content_5171345.htm, 2017.
- [3] 翟世鸿, 姬付全, 王潇潇, 陈富强, 杨 钊. 铁路矿山法隧道 BIM 建模标准研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60 (1): 107-110.
- [4] 北京市轨道交通建设管理公司. QGD-004-2005, 轨道交通分部工程和分项工程划分标准[S]. 2005.
- [5] 贾宏俊, 王 刚. 大型复杂工程项目 WBS 分解问题研究[J]. 建筑经济, 2013 (10): 32-34.
- [6] GB/T51269-2017. 建筑工程设计信息模型分类和编码标准[S]. 2017.
- [7] James H Clark, Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithms[J]. Communication of ACM, 1976, 19 (10): 517-554.
- [8] 美国建筑师协会. AIA E202 建筑信息模型协议增编[Z]. 2008.
- [9] 刘占省, 王泽强, 张桐睿, 徐瑞龙. BIM 技术全寿命周期一体化应用研究[J]. 施工技术, 2013, 42 (18): 91-95.
- [10] 李奥蕾, 秦 旋. 国内外 BIM 标准发展研究[J]. 工程建设标准化, 2017 (6): 48-54.
- [11] VA (2010). “The Object Element Matrix” Department of Veterans Affairs (VA) Office of Construction & Facilities Management (CFM)[EB/OL]. [http://www.cfm.va.gov/tit/bim/BIM Guide/downloads/oemf.xls](http://www.cfm.va.gov/tit/bim/BIM%20Guide/downloads/oemf.xls), 2014.
- [12] GB/T51235-2017, 建筑信息模型施工应用标准[S]. 2017.
- [13] GB/T51235-2017. 建筑工程施工信息模型应用标准[S]. 2017.

作者简介:

徐大统 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 地铁施工建设;

樊建虎 (1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 地铁施工建设;

周 红 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 建筑信息技术, 工程及基础设施评估相关方面研究;

林 孟 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 智能化施工场地优化布置。